

4.3 Informationen zur verwendeten Technik

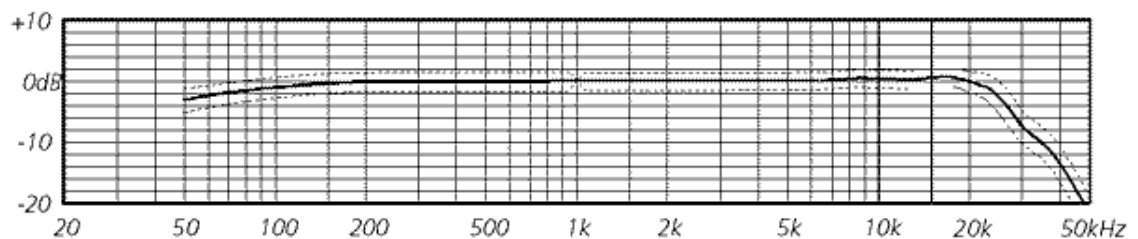
Um den Vorteil eines stark erweiterten Übertragungsspektrums hochauflösender digitaler Kodierungsverfahren nutzen zu können, sollte die zum Einsatz kommende Technik diesen Anforderungen ebenfalls gerecht werden. Im Folgenden soll die verwendete Technik – in der Reihenfolge des Signalflusses – kurz vorgestellt werden.

Das gesamte Equipment wurde, übereinstimmend mit den Spezifikationen, entsprechend lange vor Beginn der Tests eingeschaltet, so dass die Geräte eine stabile Arbeitstemperatur erreichen konnten.

- Mikrofone:

Bei der Wahl der Mikrofone sollte darauf geachtet werden, dass diese einen möglichst linearen, über die normale Audiobandbreite hinaus erweiterten Frequenzgang haben und des Weiteren eine möglichst kleine Membran besitzen, da die Impulsantwort umso präziser ist, je kleiner der Membrandurchmesser ist. Gewählt wurden Schoeps- und Sennheiser-Mikrofone:

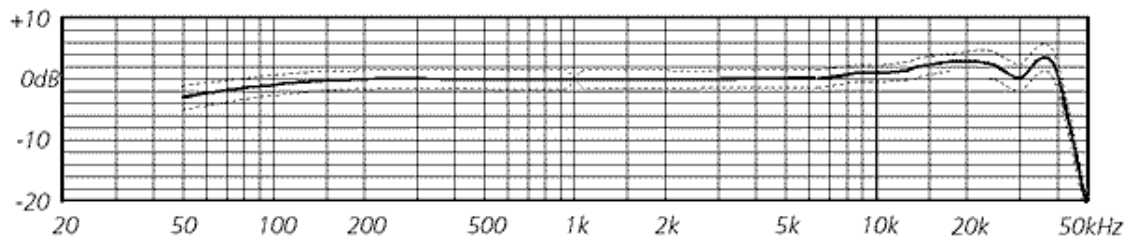
An Schoeps-Kapseln standen jeweils zwei MK2Sg und MK4g sowie eine MK41g des Colette-Systems zur Verfügung, die mit dem Mikrofonverstärker CMC 6-Ug xt („extended“) betrieben wurden. Die auf dem CMC 6 (s. Grafik Nr.26a) basierende Schaltung dieses Mikrofonverstärkers wurde von Schoeps so erweitert, dass der Übertragungsbereich/Höhenfrequenzgang sich bis über 40kHz fortsetzt (s. Grafik Nr.26b):



Grafik Nr.26a: Frequenzgang des CMC 6 – Standardausführung – mit Niere MK4.⁵¹

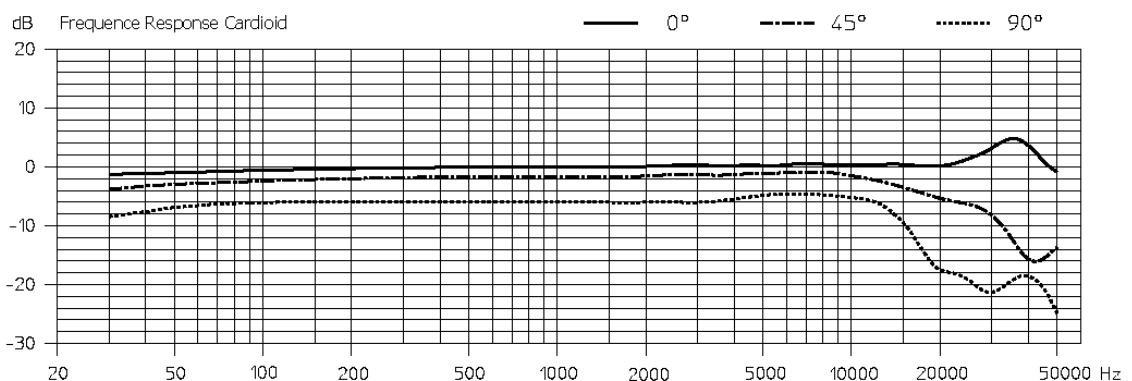
⁵¹ <http://www.schoeps.de> .

4 Versuchsbeschreibung



Grafik Nr.26b: Frequenzgang des CMC 6xt mit Niere MK4.⁵²

Das MKH800 von Sennheiser ist ein Studio-Richtmikrofon mit fünf schaltbaren Richtcharakteristiken – Kugel, breite Niere, Niere, Superniere und Acht. Es enthält einen Doppelwandler mit zwei im akustischen Verbund arbeitenden Gegentaktwandlern hoher Linearität; der Frequenzbereich ist, wie aus der nachfolgenden Grafik Nr.27 erkenntlich, bis 50kHz erweitert:



Grafik Nr.27: Frequenzgang Sennheiser MKH800 mit Nierencharakteristik.⁵³

- Mikrofonvorverstärker:

Der Lake People MIC-AMP F35/II ist ein zweikanaliger Mikrofon-Vorverstärker. Die Verstärkung erfolgt durch einen sogenannten Instrumentations-Verstärker in Form eines optimierten IC's⁵⁴, welches sich durch seine Rauscharmut bei hohen Verstärkungen und seine hohe Breitbandverstärkung (GBW = Gain Bandwidth Product) auszeichnet. Es ist – neben der Slew-Rate – entscheidend für die Güte eines Verstärkers und lässt sich aus dem erzielten Frequenzgang bei einer bestimmten Verstärkung berechnen. Der MIC-AMP F35/II hat bei einer 1000-fachen

⁵² Ebd.

⁵³ <http://www.sennheiser.com>.

⁵⁴ Eingesetzt wird der SSM 2017 von PMI. Dieser Instrumentations-Verstärker hat bei +60dB Verstärkung und 70kHz eine Absenkung von 0,5dB und ist somit ideal, was Schnelligkeit und Frequenzgang betrifft.

4 Versuchsbeschreibung

Verstärkung (+60dB) einen internen linearen Frequenzgang von weit über 200kHz, woraus sich ein theoretisches GBW von 200MHz ergibt.⁵⁵

- A/D und D/A-Konverter:

Sowohl die dCS 904 A/D Converter 24/192, als auch die dCS 954/955 D/A Converter 24/192 sind zweikanalige Stand-alone-Konverter, die nicht nur alle PCM-Standard-Abtastraten von 32 bis 192kHz, sondern auch DSD als Kodierungsformat anbieten. Beide Wandlertypen arbeiten ohne das sogenannte Gain Ranging⁵⁶ mit einer diskreten 5-Bit Architektur bei 64-fachem Oversampling, die auf dem patentierten dCS Ring DAC basiert. Dieser zeichnet sich vor allem durch seine sehr hohe Linearität aus.

Im PCM-Modus bietet der dCS 904 neben vier durch den Benutzer wählbaren Anti-Aliasing-Filtern (für jede Samplingfrequenz) auch ein Noise-Shaping erster, dritter und neunter Ordnung. Durch einen Auto-Modus wird gewährleistet, dass der für die gewählte Ausgangs-Wortbreite geeignete Noise-Shaper benutzt wird. Die Ausgangs-Wortbreite lässt sich in Ein-Bit-Schritten zwischen 16 und 24 Bit einstellen. Für die Ausgabe von 88,2- oder 96kHz-Daten bietet dCS, abgesehen von den einzelnen SDIF-2- oder AES3-Schnittstellen, ebenso die Möglichkeit, das Dual AES- bzw. für 176,4- oder 192kHz-Daten das Quad AES-Interface zu nutzen (sogenannter Comprehensive Digital Output). Letzteres Interface wurde beim vorliegenden Versuchsaufbau verwendet: Es besteht aus vier mit 44,1kHz auflösenden AES3-Leitungen, wobei jeweils zwei Leitungen pro Audio-Kanal genutzt werden (Leitungsaufteilung nach geraden und ungeraden Samples).

Im DSD-Modus stehen dem Benutzer acht frei wählbare, unterschiedliche DSD-Noise-Shaper zur Verfügung, die eine Beeinflussung der spektralen Verteilung des Quantisierungsrauschens ermöglichen. Die Ausgabe von DSD kann einerseits über die SDIF-2- oder SDIF-3-Schnittstelle oder andererseits über ein Pseudo-AES3 Format erfolgen (Daten-Bitmapping). Hierfür werden die vier digitalen AES-Outputs

⁵⁵ Entnommen aus der Bedienungsanleitung MIC-AMP F35/II 2001.

⁵⁶ Gain Ranging bedeutet, dass zwei oder mehr Wandlerbausteine mit unterschiedlich justierten Arbeitspunkten oder unterschiedlichen Kennlinien zusammen betrieben werden. Abhängig vom jeweiligen Pegel wird das Analogsignal einem der Wandler zugewiesen. Anschließend werden die Ausgangswerte der Wandler auf digitaler Ebene wieder addiert. Dieses Prinzip kann z.B. aufgrund der unterschiedlichen Wandlerkennlinien zu wahrnehmbaren Artefakten führen, die laut dCS das erreichbare Maß an Transparenz verringern könnten.

4 Versuchsbeschreibung

(DSD4) benutzt. Eine Erweiterung bildet der P3D-Modus, bei dem zwei Kanäle DSD auf drei AES3-Leitungen (44,1kHz/24Bit) ausgegeben werden.

Somit kann unter Verwendung des Comprehensive PCM- und P3D-Modus sowohl DSD als auch hochauflösendes PCM auf jedem herkömmlichen PCM-Recorder aufgenommen werden, der in der Lage ist, acht Kanäle mit 44,1kHz und 24Bit zu speichern.

Der dCS 954/955 bietet im PCM-Modus die Option, bei jeder Samplingfrequenz zwischen vier sogenannten „Anti-Imaging-Filtern“ zu wechseln. Diese haben unterschiedliche Übergangs-Bandbreiten, woraus sich demzufolge eine unterschiedlich präzise Impulsantwort ergibt (s. auch Kap.2.3). DSD-seitig kann zwischen vier Digitalfiltern gewählt werden, die durch eine unterschiedliche Ausgangssignal-Bandbreite eine optimale Anpassung an die Monitorkette garantieren. Selbstverständlich sind die Wandler in der Lage, alle digitalen Ausgangsformate des dCS A/D-Konverters zu verarbeiten.

Eine Fernbedienungs-Software ermöglicht, auf die Menüfunktionen von bis zu sechs dCS-Konvertern über den COM-Port eines Pentium-PC's zuzugreifen.

- Audio-Workstation:

Als Audio-Rechner wurde eine leistungsfähige Workstation mit einem Raid0-System konzipiert, auf der Pyramix „Virtual-Studio-System“ von Merging installiert wurde. Als „Digital Audio Input/Output-PCI-Lösung“ wurden zwei Mykerinos Mothercards (32Bit Floating Point) gewählt, die aufgrund ihrer zweiteiligen Architektur mit jeweils einem Mykerinos AES-EBU Daughter Board ausgestattet wurden. Diese bieten je 24 I/O-Kanäle über 12 AES-EBU I/O Leitungen, die über drei Brackets und Breakout-Kabel herausgeführt werden. Somit standen insgesamt 48 Audiokanäle mit 44,1kHz/24Bit über 24 AES-EBU I/O-Leitungen zur Verfügung.

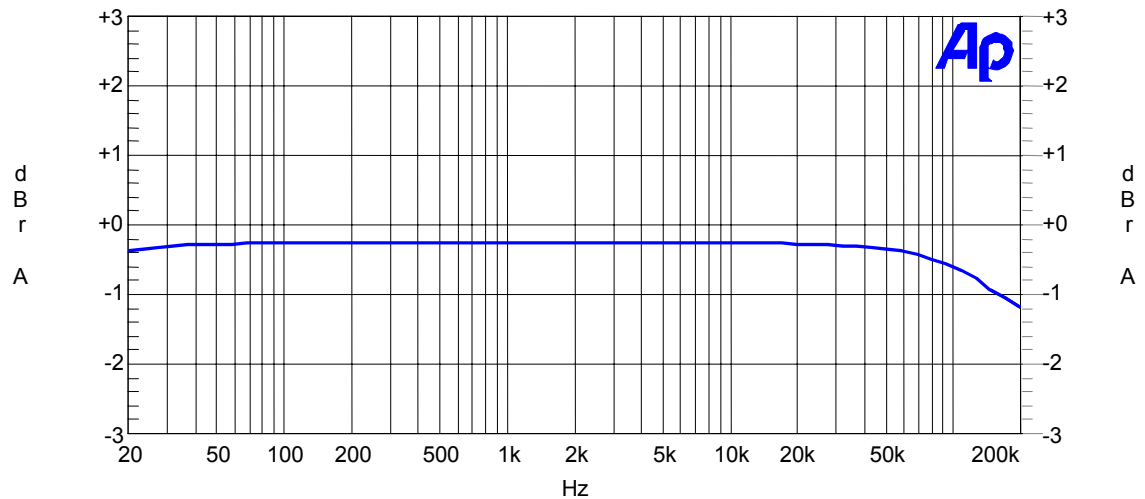
- Monitorunit und ABX-Software:

Sowohl die analoge Surround-Monitorunit MU 2000, als auch die ABX-Software basieren auf einer Eigenentwicklung der Emil-Berliner-Studios. Die Monitorunit mit symmetrischen Ein- und Ausgängen ermöglicht, zwei separate Stereo- und/oder Surround-Eingänge mittels der ABX-Software auf einen Ausgang zu routen. Dabei

4 Versuchsbeschreibung

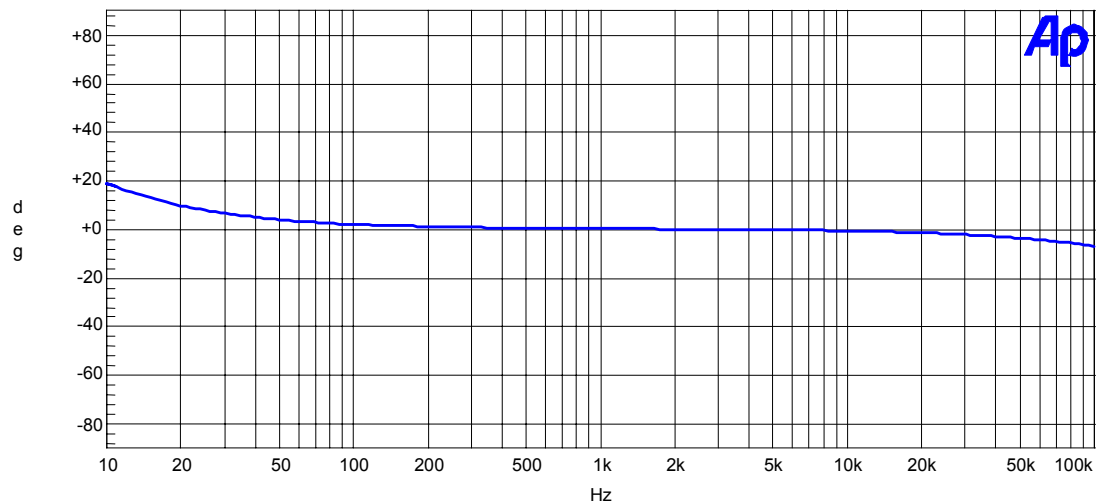
sind sowohl die Eingangs- als auch die Ausgangspegel abgleichbar. Der Frequenz- und Phasengang kann den folgenden Grafiken Nr. 28a und 28b entnommen werden:

Emil Berliner Studios



Grafik Nr.28a: Frequenzgang MU 2000 der Emil-Berliner-Studios.⁵⁷

Emil Berliner Studios



Grafik Nr.28b: Phasengang MU 2000 der Emil-Berliner-Studios.⁵⁸

- Endstufen:

Da im Gegensatz zu den aktiven Systemen (L und R) für C, LS und RS passive Lautsprecher verwendet wurden, waren für diese zusätzlich externe Endstufen not-

⁵⁷ Technische Unterlagen Emil-Berliner-Studios.

⁵⁸ Ebd.

4 Versuchsbeschreibung

wendig, die uns mit den AVM Monoblöcken „Evolution M3“ als zu den Lautsprechersystemen passende Verstärker ebenfalls durch die Firma Manger zur Verfügung gestellt wurden. Die Endstufen zeichnen sich besonders durch eine breitbandige Verstärkerschaltung aus, welche die exakte Reproduktion aller NF-Signale bis zu den im Ultraschallbereich liegenden Oberwellen ermöglicht. Dabei wird die Bandbreite von 700kHz sowohl unter Last als auch im Leerlauf erreicht. Die Verstärkerschaltung ist an allen vorkommenden Lastimpedanzen bis unter $0,5\Omega$ stabil. Durch diese Eigenschaften erzielen die Endstufen eine phasentreue und schnelle Wiedergabe des Audiosignals.

- Lautsprecher:

Im direkten Zusammenhang mit den Endstufen stehen die für einen Hörvergleich verwendeten Lautsprecher: An diese wird nicht nur der Anspruch eines erweiterten Frequenzbereichs, sondern ebenso der einer guten Impulswiedergabe gestellt. Werden Transienten, kurze Druckänderungen verursacht durch kurze Geräusche oder Impulse, nicht korrekt wiedergegeben, wird dadurch die Lokalisation bzw. die räumliche Wiedergabe beeinträchtigt. Diesbezüglich lassen sich mit Hilfe von sogenannten Sprungantwort-Tests etliche Aussagen treffen und Probleme vieler herkömmlicher Lautsprecher feststellen.

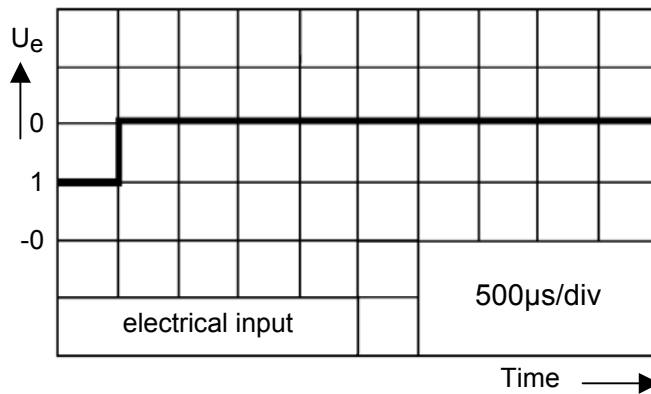
Aufgrund der besonderen Relevanz der Abhörsysteme für den Hörvergleich soll im Folgenden das Verfahren eines Sprungantwort-Tests ausführlich dargestellt werden:⁵⁹

Da die Luft einen Druckstoß nicht aufrecht erhalten kann, wird sich der aufgebaute Druck wieder einem statischen Wert, dem atmosphärischen Luftdruck, annähern. Dieser Vorgang verläuft zunächst über eine Unterdruckauslenkung, bevor sich der Luftdruck sukzessive dem vorherigen statischen Wert asymptotisch angleicht.

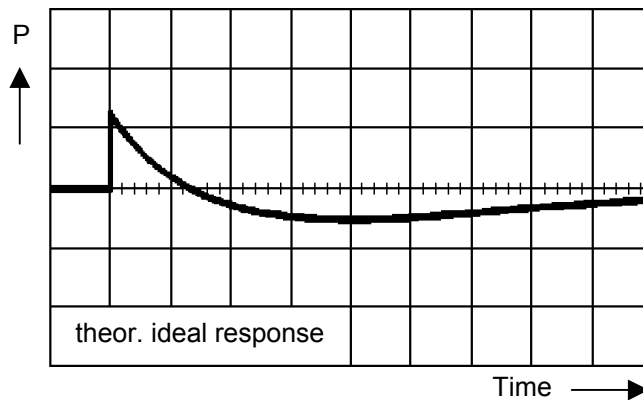
Wird ein elektrisches Eingangssignal gemäß Grafik Nr.29 auf einen Lautsprecher gegeben, so erhält man die in Grafik Nr.30 dargestellte theoretische Impulsantwort der Luft:

⁵⁹ Nach J.W.Manger 2000: Die akustische Realität: 8.

4 Versuchsbeschreibung



Grafik Nr.29: Elektrisches Eingangssignal.⁶⁰



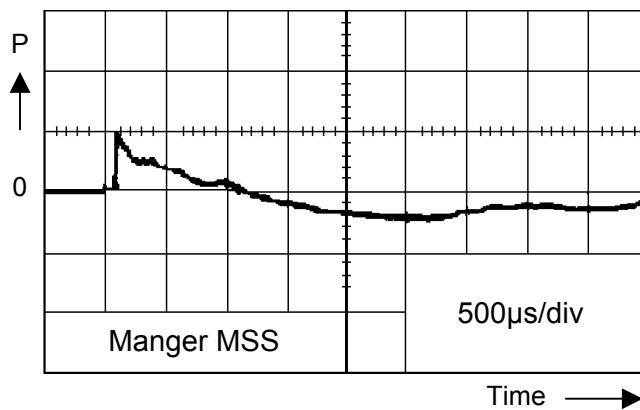
Grafik Nr.30: Theoretisch ideale Impulsantwort der Luft.⁶¹

Bei konventionellen Mehrwege-Lautsprechern werden mehrere in unterschiedlichen Frequenzbereichen arbeitende Treiber eingesetzt, die konstruktionsbedingt durch Masse-Feder-Schwingungssysteme zu unerwünschten Einschwingfehlern und daraus resultierenden Einschwinggeräuschen führen. Aufgrund der aufeinanderfolgenden Einschwingvorgänge der einzelnen Wege kommt es zu einem zeitversetzten Eigenschwingen, worin eine Ursache für lautsprechereigene Färbungen begründet liegt. Das Resultat ist zum einen neben Hörermüdigungserscheinungen eine leichtere Ortbarkeit der Lautsprecher, zum anderen eine deutlichere Fixierung auf den Referenz-Abhörpunkt, da dort die Laufzeit des Einschwingfehlers identisch ist. In den Grafiken Nr.31 und Nr.32 ist deutlich gegenübergestellt, wie sich dieser Fehler – im Gegensatz zum Manger Breitband-Schallwandler (MSW) – bei einem herkömmlichen Mehrwege-Lautsprechersystem bemerkbar macht:

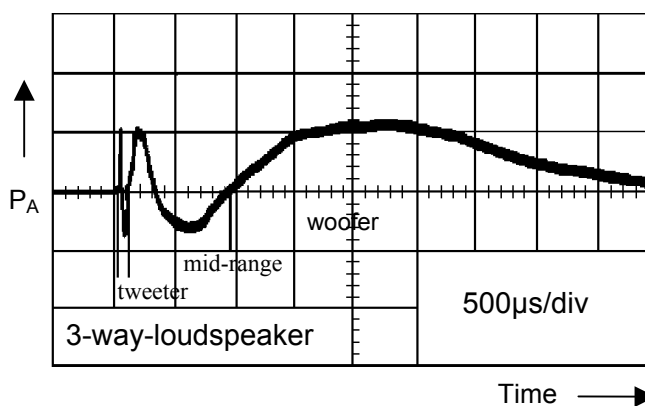
⁶⁰ <http://www.manger-msw.com> .

⁶¹ Ebd.

4 Versuchsbeschreibung

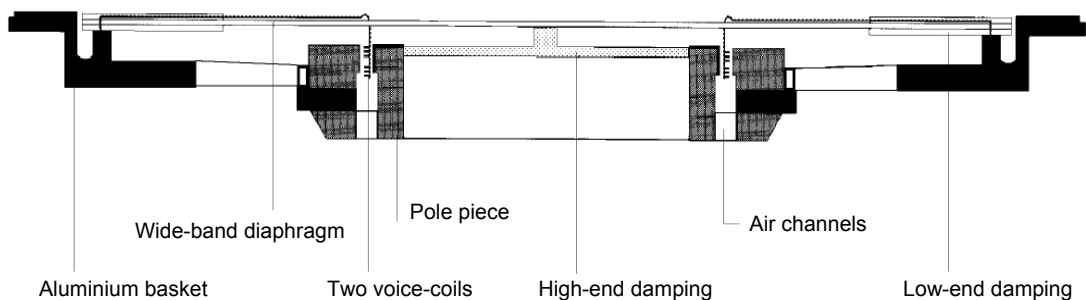


Grafik Nr.31: Impulsantwort Manger Schallwandler (MSW).⁶²



Grafik Nr.32: Impulsantwort eines Drei-Wege-Systems.⁶³

Der MSW wurde bei gleichzeitiger Erfüllung eines gleichmäßigen Amplituden-Frequenzgangs ebenfalls auf präzises Zeitverhalten hin konstruiert. Die Membran besteht aus einem speziellen, flexiblen Material, das Biegewellen ermöglicht, die sich – angeregt durch eine Schwingspule – radial unterschiedlich schnell nach außen ausbreiten (entspricht dem Ausbreitungsprinzip der Biegewellen auf der Basilar-membran im Innenohr):



Grafik Nr.33: Skizze des MSW.⁶⁴

⁶² Ebd.

⁶³ Ebd.

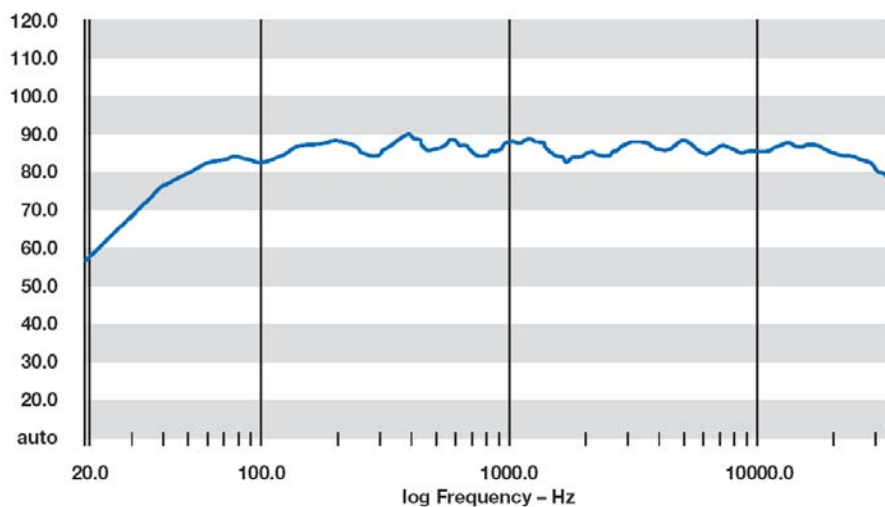
⁶⁴ Ebd.

4 Versuchsbeschreibung

Weitere Gründe für die Auswahl der Manger-Systeme waren die extrem schnelle Anstiegszeit von 13 Mikrosekunden sowie der erweiterte Frequenzbereich bis 35kHz des Manger Schallwandlers.

Wie bereits erwähnt wurden bei dem Hörvergleich unterschiedliche Lautsprecher-Systeme verwendet: Für C, LS und RS kam die Manger Zerobox 109, für L und R das aktive Manger Schallsystem (MSS) zum Einsatz. Letztere bestehen aus dem TT-Submodul und dem MSW-Topmodul, das mit zwei Endstufen in Brückenschaltung mit einer Anstiegszeit von $1,5\mu\text{s}$ (entspricht einer Bandbreite von ca. 330kHz) arbeitet. Dieser Studiomonitor ist mit drei MSW's ausgestattet, wobei die jeweils seitlich angebrachten MSW's pneumatisch eine unendliche Schallwand erzeugen. Die Zerobox 109 ist eine 2-Wege-Kompaktbox mit geschlossenem Gehäuse bei einer Trennfrequenz von 140Hz.

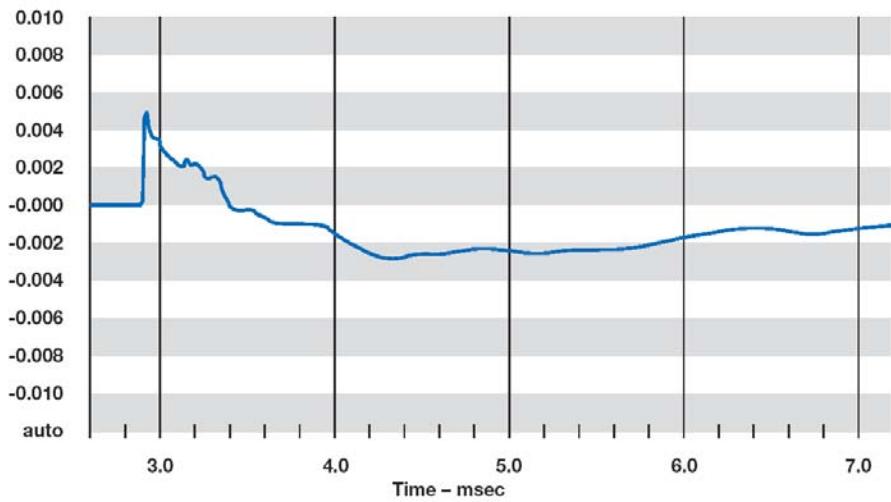
In den Grafiken Nr.34a und 34b, wie auch Nr.35a und 35b folgen jeweils Frequenzgang- und Sprungantwort-Messungen der verwendeten Lautsprechersysteme Manger Zerobox 109 sowie Manger MSS-Studiomonitor:



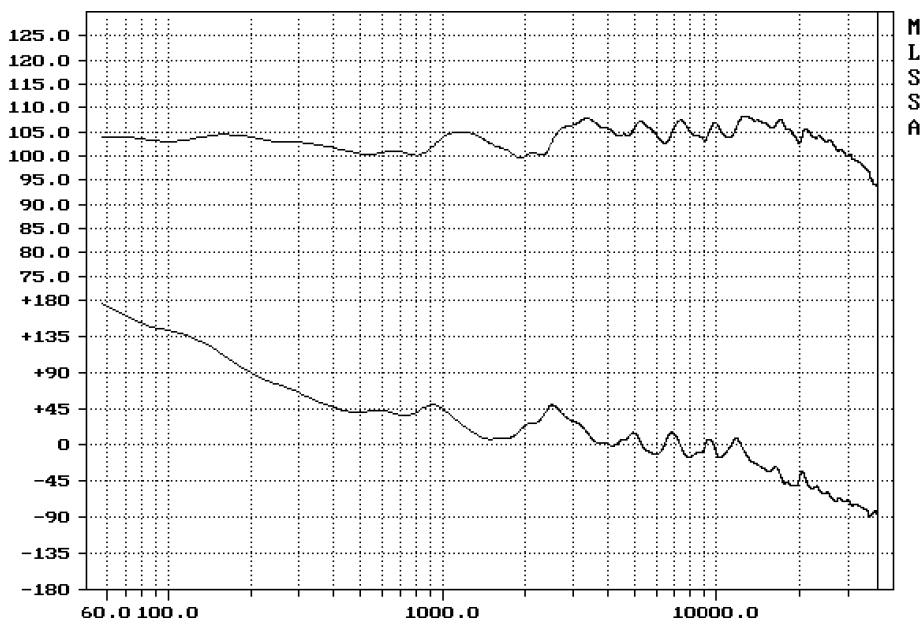
Grafik Nr.34a: Frequenzgang Zerobox 109.⁶⁵

⁶⁵ Ebd.

4 Versuchsbeschreibung



Grafik Nr.34b: Sprungantwort Zerobox 109.⁶⁶

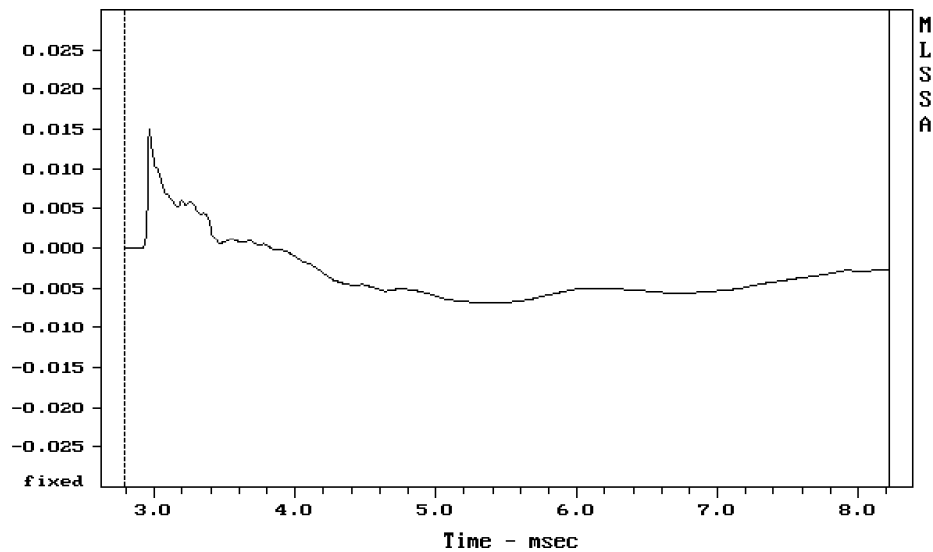


Grafik Nr.35a: Frequenz- und Phasengang MSS-Studiomonitor.⁶⁷

⁶⁶ Ebd.

⁶⁷ Technische Unterlagen Manger Products.

4 Versuchsbeschreibung



Grafik Nr.35b: Sprungantwort MSS-Studiomonitor.⁶⁸

- Kopfhörer:

Als Kopfhörer wurde der hochwertige und bereits als Studio-Standard geltende Stax SR-λ Professional mit dem Röhrenverstärker SRM-006t eingesetzt. Der elektrostatische Kopfhörer überträgt einen Frequenzbereich von 8Hz bis 35kHz, der Röhrenverstärker reicht nach Angaben des Herstellers von DC bis ca. 44kHz/+0, -1,5dB.

- Audiokabel:

Die gesamte Verkabelung wurde ausnahmslos mit neuen, hochwertigen Analog- und Digitalkabeln der Firma Klotz ausgeführt:

Als analoge Audiokabel wurden ausschließlich solche der Serie M1 verwendet, die auf dem flexiblen und mit 60pF/m (Leiter/Leiter) sehr niederkapazitiven Mikrofonkabel MC 2000 basiert. Sämtliche digitalen 110Ω-Audiokabel sind AES-EBU-Patchkabel der Serie AY vom Kabeltyp AEY 122.

Des Weiteren wurden Wordclockkabel der Serie SWC mit dem Kabel V06L37 und Y-Adapter vom Typ PYB5 benutzt.

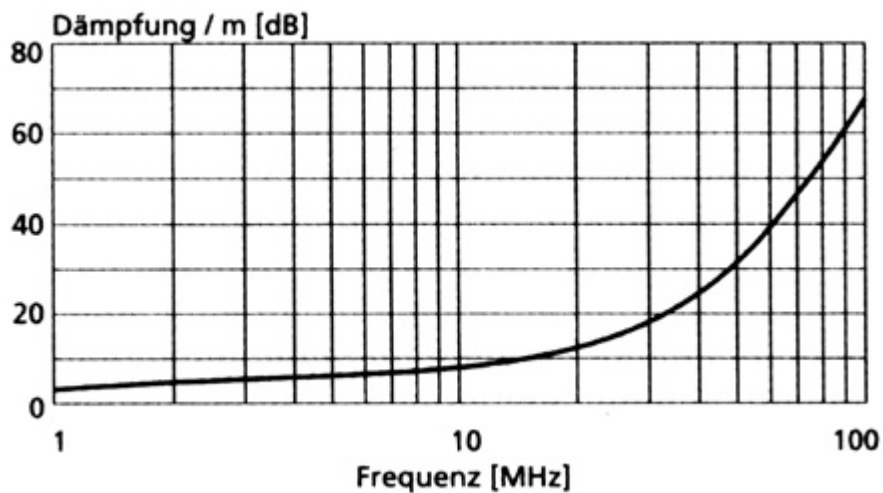
- Netzfilterung:

Um neben dem geregelten Netz des Erich-Thienhaus-Instituts noch zusätzlich eine Netzfilterung mit einzubeziehen, wurde die gesamte Technik über ein ferromag-

⁶⁸ Ebd.

4 Versuchsbeschreibung

Netzfilter-Kabel, das sich aus 7m Kabel und einer 8-fach Steckdosenleiste zusammensetzt, angeschlossen. Dieses eliminiert auf passive Weise breitbandige HF-Störungen: Die drei Kupferleiter sind jeweils mit einer flexiblen Ferritmasse sehr hoher Permeabilität umgossen, in die durch die Störsignale elektrische Wirbelströme induziert werden, welche jedoch, bedingt durch die hohe Impedanz, innerhalb des Kabels sehr effektiv absorbiert werden. So wird eine Dämpfung von 5 – 70dB/m (je nach Frequenz) erreicht:



Grafik Nr.36: Dämpfung des ferromag-Netzfilter-Kabels in Abhängigkeit der Frequenz.⁶⁹

Um die Dämpfung in einem breiten Spektralbereich noch zu verbessern, wird das Kabel zusätzlich einem gerichteten Magnetfeld ausgesetzt, wodurch sich die Polarisation der Ferrite noch erhöht.

⁶⁹ <http://www.ferromag.de> .